

## 電子基準点データ等による水準点の標高変動補正の検証（第5年次）

|          |              |
|----------|--------------|
| 実施期間     | 平成28年度～令和2年度 |
| 測地部測地基準課 | 山下達也 塩谷俊治    |
| 測地部宇宙測地課 | 高木悠 三木原香乃    |

### 1. はじめに

測地基準課では、電子基準点と InSAR（干渉 SAR）のデータを活用することで、迅速かつ効率的に鉛直変位量や変動域を把握し、水準点の標高を改測する判断材料として活用する手法について検証を行ってきた（例えば、兒玉ほか，2018；加古ほか，2019；高木ほか，2020）。高木ほか（2020）では、平成30年北海道胆振東部地震（以下「胆振東部地震」という。）の発生域を対象として検証を行い、水準測量で得られた変位量（以下「水準変位量」という。）と、電子基準点と InSAR から推定した変位量（以下「推定変位量」という。）の差の RMS の最小値が 2.4cm となった。一方この事例では、図-1 の緑色の楕円で囲んだ領域において局所的な変動が見られ、水準変位量と推定変位量の間には 10cm 近い乖離が見られた。この乖離は、当該地域における局所的変動が震源断層モデルや 3次元 InSAR データから推定される地震時の変動だけでは説明できないことを示唆している。この課題に対する解決策として、SAR 時系列解析を適用して経年変動、特に地震前の局所的な変動を推定することが考えられる。そこで、本年度は SAR 時系列解析の一手法である SBAS 法（Berardino et al., 2002）によって地震前の局所的変動を推定することで、水準変位量と推定変位量の間乖離がどの程度改善するかを検証した。

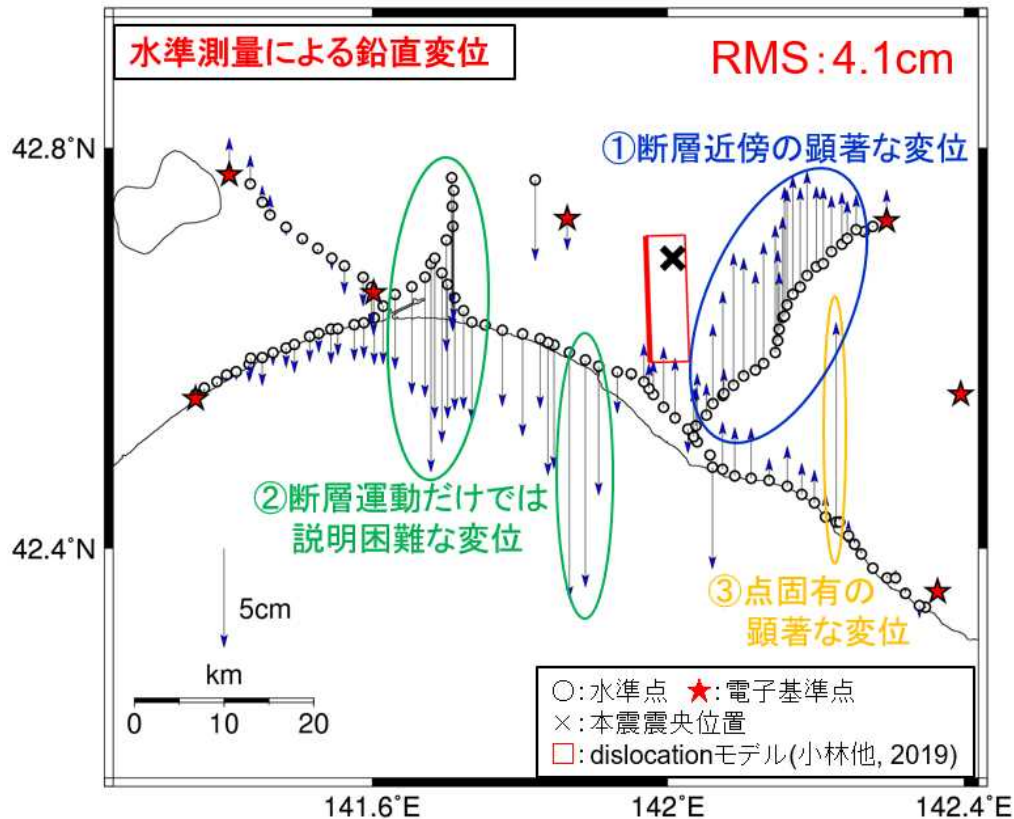


図-1 北海道胆振地区において実施された水準測量で得られた変位量。青色の矢印が変位量を表す。白抜き丸印と赤色の星印はそれぞれ水準点と電子基準点を表し、×印は胆振東部地震の震央を表す。また、赤い矩形は小林ほか（2019）で導出された震源断層モデルの位置を表す。図中の緑色の楕円で囲んだ領域において、局所的な変動が見られる。

## 2. 研究内容

### 2.1 手法

本研究では、地震前の局所変動検出に対する SAR 時系列解析の有効性を調べるため、電子基準点、震源断層モデル、3次元 InSAR、SAR 時系列解析の各データを用いて、表-1 に示す 4 つの組み合わせについて検証を行った。電子基準点データによる変動推定については、高木ほか（2020）と同様に行った。震源断層モデルについては、小林ほか（2019）が電子基準点と InSAR のデータをもとに導出した断層パラメータを用いて変動量を算出した。3次元 InSAR については、地震発生日を挟む ALOS-2 の 10 の画像ペアを使用し、Wright et al. (2004) に従って最小二乗推定により変動を算出した。また、SAR 時系列解析に基づく地震前の局所的な上下変動の推定については、以下のように実施した。

- (1) SBAS 法を 2014 年～2018 年に当該地域で撮影された 24 枚の ALOS-2 画像に適用し、期間中の各ピクセルでの衛星視線方向の変動速度（以下「LOS 変動速度」という。）を推定する。解析には小林ほか（2018）が開発した GSITSA を利用した。
- (2) 水平変動の空間スケールが電子基準点の配点間隔よりも大きいと仮定し、電子基準点のデータを空間的に内挿補間（バイリニア補間）することで、各ピクセルの近似的な水平変動速度を求める。
- (3) 水平、上下変動速度を衛星視線方向に射影したものを足し合わせると LOS 変動速度になるこ

とに着目し、(1) で求めた LOS 変動速度と (2) で求めた水平変動速度を用いて上下変動速度を得る。

- (4) 上下変動速度は時間的に一定であると仮定し、(3) で得た胆振東部地震発生前の直近の水準測量実施時から地震発生時までの経過時間を上下変動速度に乗じて、地震前の推定変位量を算出する。

表-1 本検証で変動推定に利用したデータの全組み合わせ。Case1, 2 は高木ほか (2020) の C+FAULT 補正, C+SAR 補正に相当するケースである。

| Case | 地震前       | 地震時       | 地震後   |
|------|-----------|-----------|-------|
| 1    | 電子基準点     | 震源断層モデル   | 電子基準点 |
| 2    | 電子基準点     | 3次元 InSAR | 電子基準点 |
| 3    | SAR 時系列解析 | 震源断層モデル   | 電子基準点 |
| 4    | SAR 時系列解析 | 3次元 InSAR | 電子基準点 |

### 3. 結果

#### 3.1 SAR 時系列解析を用いない場合 (Case1, 2)

図-2, 3 にそれぞれ Case1, 2 における水準変位量と推定変位量の差を示す。高木ほか (2020) と同様、断層近傍の顕著な変位が見られた領域 (青色の楕円で囲んだ領域) を中心に較差が小さくなっている一方、緑色の楕円で囲んだ領域において 10cm 近い較差が見られる。Case1, 2 の差の RMS はそれぞれ 2.4cm, 2.5cm であった。

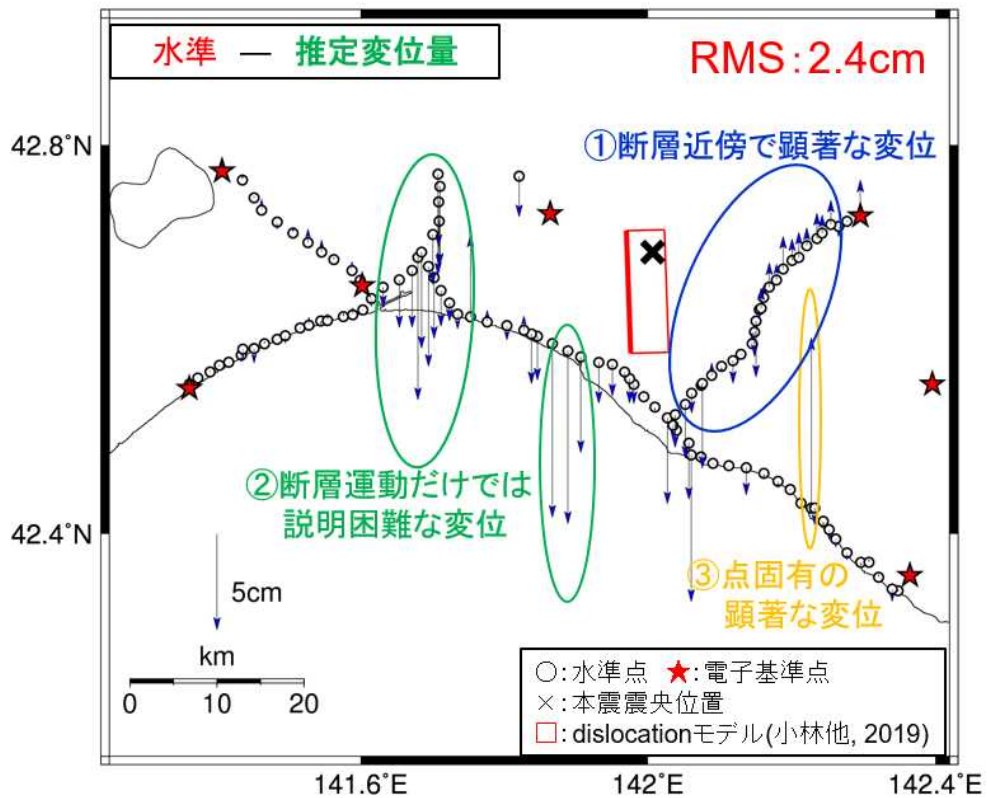


図-2 Case1における水準変位量と推定変位量の差をベクトル（青矢印）で示したもの。

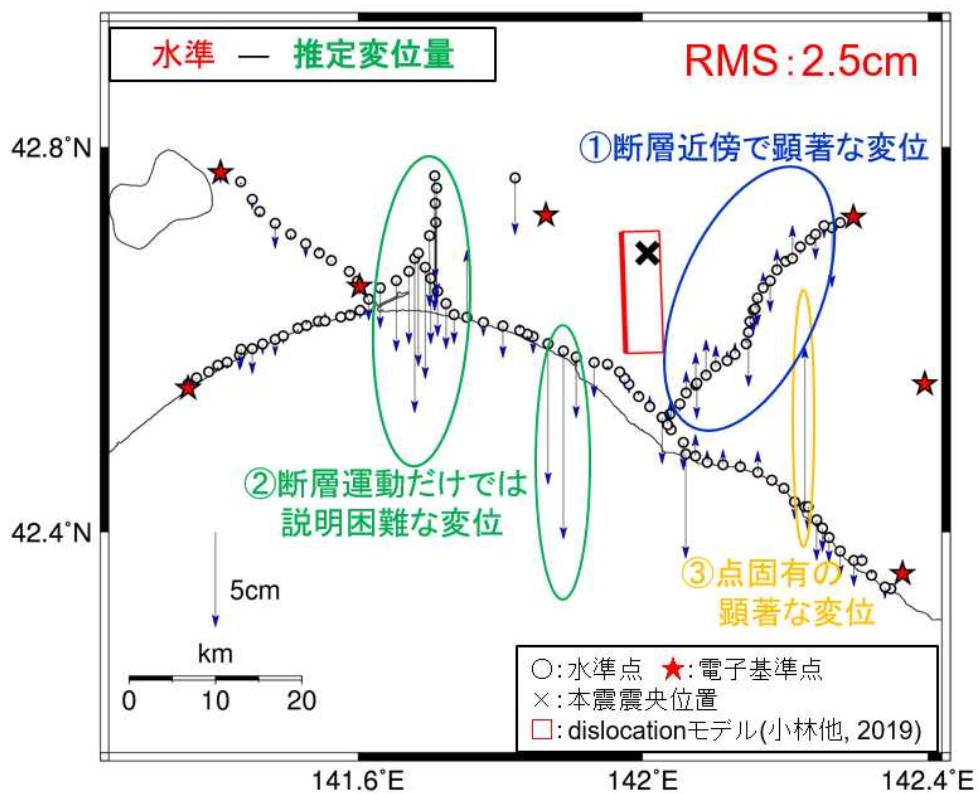


図-3 Case2における水準変位量と推定変位量の差をベクトル（青矢印）で示したもの。

### 3.2 SAR 時系列解析を用いた場合 (Case3, 4)

図-4, 5 にそれぞれ Case3, 4 における水準変位量と推定変位量の差を示す. SAR 時系列解析により地震前の局所的な上下変動を推定できた 10 の水準点 (紫色の点) の較差を Case1, 2 と比較すると, Case3 は Case1 に比べて 7 点, Case4 は Case2 に比べて 8 点で較差が小さくなっている.

水準点 10 点における較差の RMS は, Case1, 2 でそれぞれ 5.8cm, 6.0cm であるのに対し, Case3, 4 ではそれぞれ 4.6cm, 4.4cm と約 25%改善している. 全水準点における較差の RMS についても, Case3, 4 でそれぞれ 2.2cm, 2.1cm と改善が見られる. さらに水準点 10 点における較差の絶対値の最大値についても, Case1, 2 でそれぞれ 9.1cm, 9.9cm であるのに対し, Case3, 4 ではそれぞれ 7.2cm, 8.2cm といずれも小さくなっている. 以上により, 地震前の局所的な変動の推定に電子基準点の代わりに SAR 時系列解析を用いた場合, 水準変位量と推定変位量の間の乖離が有意に小さくなっていることが分かる.

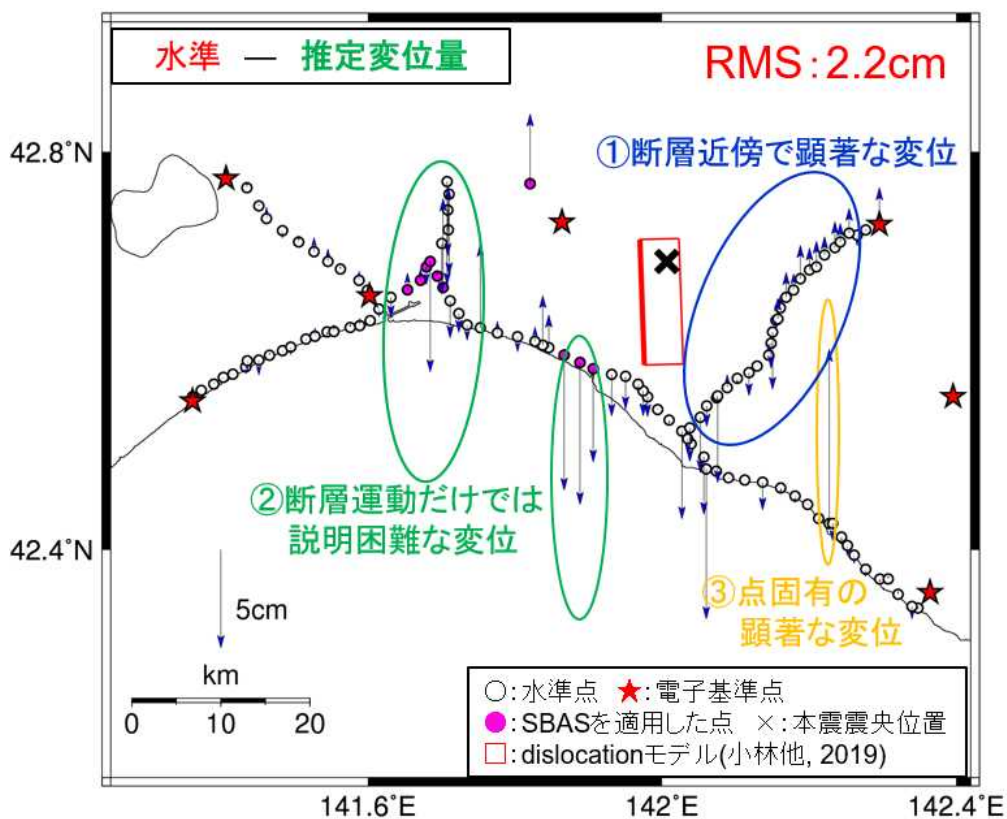


図-4 Case3 における水準変位量と推定変位量の差をベクトル (青矢印) で示したもの.

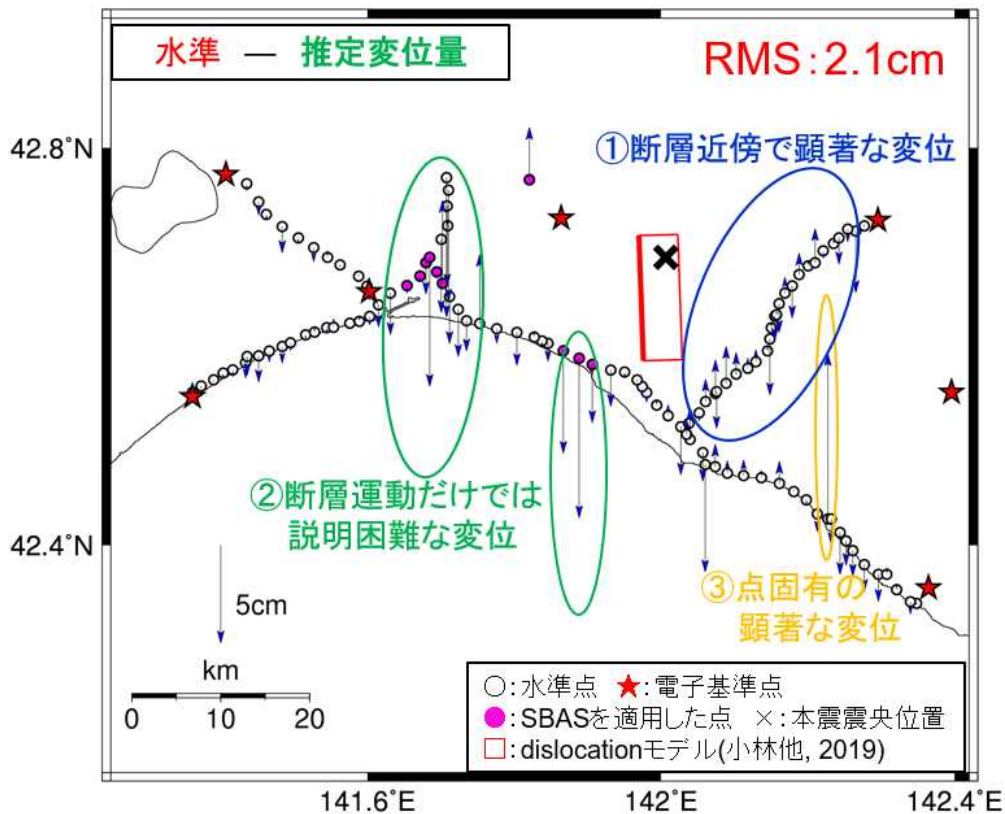


図-5 Case4における水準変位量と推定変位量の差をベクトル（青矢印）で示したもの。

#### 4. 結論

本稿では、高木ほか（2020）と同じ胆振東部地震発生域を対象とし、地震前の局所変動検出に対する SAR 時系列解析の有効性を検証した。その結果、SAR 時系列解析を適用した点での水準変位量と推定変位量との RMS が約 25% 低減することが分かった。このことは、SAR 時系列解析が定常的な局所変動の検出ツールとして、高さ方向の国家座標の維持・管理に活用できることを示唆している。特に 2022 年度に打ち上げ予定の ALOS-4 では、ALOS-2 よりも高頻度な観測が実現され、SAR 時系列解析による変動検出能力はさらに向上するため、局所変動の検出ツールとしての意義は将来的にさらに大きくなると期待される。

しかしその一方で、SAR 時系列解析を導入しても解決しきれない問題があることも分かった。それは、SAR 時系列解析を適用した後でも、水準変位量と推定変位量との較差は最大で 7~8cm に及んでいる点である。較差が大きい水準点の周辺には湿地が存在しているか、又は地震時に液状化現象が発生しており、干渉の度合い（計測精度）の指標となるコヒーレンスが相対的に低くなっていると考えられる。このようにコヒーレンスの低い領域で変動をどのように把握するか、又は SAR で精度良く変動を監視するために水準点をどのように配置していくかについて、今後検討を進めていく必要がある。

#### 謝辞

「だいち 2 号」の原初データは、国土地理院と宇宙航空研究開発機構（JAXA）の間の協定に基づき提供されました。「だいち 2 号」の原初データの所有権は JAXA にあります。

## 参考文献

- Berardino, P., Fornaro, G., Lanari, R. and Sansosti, E. (2002): IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 40, 2375-2283.
- 加古考範, 高木悠, 山下達也 (2019): 電子基準点データによる水準点の標高変動補正の検証 (第 3 年次), 平成 30 年度調査研究年報, 20-23.
- 小林知勝, 森下遊, 山田晋也 (2018): 干渉 SAR 時系列解析プロトタイプシステムの開発, 国土地理院時報, 130, 123-133.
- 小林知勝, 矢来博司, 山田晋也 (2019): 平成 30 年北海道胆振東部地震の震源断層モデル, 国土地理院時報, 132, 69-73.
- 兒玉篤郎, 加古考範, 山下達也 (2018): 電子基準点データによる水準点の標高変動補正の検証 (第 2 年次), 平成 29 年度調査研究年報, 18-21.
- 高木悠, 塩谷俊治 (2020): 電子基準点データによる水準点の標高変動補正の検証 (第 4 年次), 令和元年度調査研究年報, 22-25.
- Wright, T. J., Parsons, B. E. and Lu, Z. (2004): Toward mapping surface deformation in three dimensions using InSAR, Geophysical Research Letters, 31, L01607.